

Сравнение ранних прогнозов заболеваемости раком щитовидной железы жителей Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС с данными наблюдений

И.А. Звонова, М.И. Балонов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Представлен обзор методов оценки доз в щитовидной железе, прогнозов отдаленных последствий ее облучения и реальной заболеваемости раком щитовидной железы жителей 4 областей Российской Федерации с наиболее значительными радиоактивными выпадениями после аварии на Чернобыльской АЭС. Методика оценки доз в щитовидной железе базируется на результатах мониторинга в мае – июне 1986 г. радиойода в окружающей среде, пищевых продуктах и в организме жителей. Данные дозиметрии щитовидной железы у населения были использованы для обоснования мер медицинской и социальной защиты, а также эпидемиологических исследований. Кроме того, органам власти и здравоохранения были необходимы прогнозы возможной заболеваемости населения для организации адекватного медицинского обслуживания. Большую часть заболеваний раком щитовидной железы прогнозировали среди взрослого населения, что не подтвердилось наблюдениями за 35 лет после аварии. Прогноз заболеваемости раком щитовидной железы детей дошкольного возраста различался в разных работах за счёт применения разных коэффициентов снижения биологической эффективности излучения ^{131}I в щитовидной железе и долгосрочного внешнего и внутреннего облучения всего тела с малой мощностью дозы. Рост заболеваемости раком щитовидной железы среди детей начался через 5 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, приведены примеры динамики заболеваемости для детей Брянской области Российской Федерации. Обобщения НКДАР ООН 2018 г. показали, что за 1986–2015 гг. среди детей и подростков моложе 18 лет на день аварии в Белоруссии, Украине и 4 областях Российской Федерации выявлено более 19 тысяч заболеваний раком щитовидной железы, из них доля радиационно-индуцированных заболеваний оценена в 25%. Для 4 областей Российской Федерации это составляет 460 случаев с диапазоном возможных оценок от 130 до 900 случаев. Наибольшая заболеваемость проявилась среди младших детей, облученных в возрасте 0–4 года. У старших детей и подростков доля радиационно-индуцированных заболеваний существенно снизилась по прошествии 30 лет после аварии. В целом, ранние прогнозы радиационно-индуцированной заболеваемости раком щитовидной железы детей в 4 областях Российской Федерации с высокими уровнями радиоактивных выпадений согласуются с данными последующих 30-летних эпидемиологических наблюдений в пределах порядка величины. В отношении рака щитовидной железы у взрослых жителей такое сопоставление затруднено, поскольку радиогенное повышение заболеваемости не выявлено.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, население, щитовидная железа, дозы, прогноз и наблюдаемая заболеваемость раком щитовидной железы.

Введение

По оценкам экспертов, в результате аварии на Чернобыльской АЭС в атмосферу поступило около $1,8 \times 10^{18}$ Бк радионуклидов ^{131}I и по меньшей мере столько же радиологически значимых короткоживущих изотопов йода [1]. Именно радионуклид ^{131}I с периодом полураспада 8,04 сут после переноса в атмосферу и выпадения на почву давал в течение первого месяца аварии наибольший вклад в дозу внутреннего облучения населения, проживавшего на загрязненной территории Российской Федерации (РФ).

Радионуклиды йода обладают летучестью, высокой химической реактивностью, способностью включаться в органические структуры при выпадении на растительность и поступлении в организм животных и человека. Они быстро мигрируют по биологической цепочке: атмосфера – пастбище – молочный скот – молоко – человек [2, 3]. Йод входит в состав тиреоидных гормонов, которые образуются в щитовидной железе (ЩЖ) человека и животных. Практически все соединения радиоактивного йода при поступлении в организм полностью и быстро всасываются в кровь в органах поступления – желудоч-

Звонова Ирина Александровна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: ir_zv@bk.ru

но-кишечном тракте и/или в легких, концентрируются в ЩЖ, создавая значительные дозы излучения [4, 5]. Все эти свойства объясняют высокую радиобиологическую опасность радионуклидов йода в случае аварии ядерного реактора и необходимость оценки радиационного воздействия на население.

Обследование территорий Российской Федерации, в том числе и аэрогаммасьёмка, выявили наибольшие уровни радиоактивных выпадений в 4 областях: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской. Анализ метеорологических данных показал, что северо-восточный радиоактивный след в этих областях образовался в результате выпадений из одного облака, сформированного от выбросов радионуклидов из разрушенного реактора во второй половине 27 апреля 1986 г., отношение плотностей выпадения радионуклидов ^{131}I к ^{137}Cs оценивалось около 10 на дату выброса [6–8].

Накопленные к 1986 г. научные знания о радиобиологическом действии радиоизотопов йода, а также результаты радиационного мониторинга в 4 областях давали основания прогнозировать, что наиболее серьезным отдаленным медицинским последствием для населения загрязненных территорий может быть увеличение заболеваемости раком ЩЖ из-за воздействия радиоизотопов йода [9–12]. Для обоснования медицинских и социальных защитных мероприятий, а также для проведения научных эпидемиологических исследований необходимо было оценить дозы излучения в ЩЖ у населения от радиоизотопов йода черномыльского происхождения. Кроме того, органам власти и здравоохранения были необходимы прогнозы возможной заболеваемости населения для организации адекватного медицинского обслуживания, и такие прогнозы были представлены в сентябре 1986 г. [10, 11]. Через 35 лет после черномыльской аварии имеется возможность сравнить эти прогнозы с фактической заболеваемостью раком ЩЖ и оценить, насколько они были точны и полезны.

Работа посвящена обзору методов оценки индивидуальных и коллективных доз облучения ЩЖ радиоизотопами ^{131}I у жителей РФ, подвергшихся воздействию радиоактивных выпадений вследствие аварии на Черномыльской АЭС, прогнозам медицинских последствий облучения ЩЖ в сравнении с выявленной заболеваемостью раком ЩЖ жителей РФ за 35 лет после Черномыльской аварии.

Исходные данные для оценки доз в щитовидной железе жителей загрязненных территорий

Методика и оценки доз излучения в ЩЖ у населения территорий России, где выпали радиоактивные вещества вследствие аварии на Черномыльской АЭС, базируются на результатах мониторинга радионуклидов йода в окружающей среде, продуктах питания и в организме жителей, который был проведен в мае – июне 1986 г.

Измерения содержания ^{131}I в ЩЖ жителей являются приоритетными данными для оценки доз в щитовидной железе, особенно если измерения дополнены информацией о поведении, рационе питания, выполнении защитных мероприятий человеком в предшествующий измерению период. Второй значимой информацией при отсутствии измерений человека являются измерения концентрации радионуклидов йода и цезия в молоке и других пищевых продуктах. При отсутствии индивидуаль-

ных сведений о поступлении ^{131}I в организм человека необходимо было обосновать обобщенную для населенного пункта (НП) функцию поступления радиоактивного йода в организм жителей с учётом усредненных факторов поведения, рациона питания и выполнения защитных мер [9, 13–16].

Первые измерения содержания ^{131}I в ЩЖ жителей территорий, загрязненных радиоактивными выпадениями от аварийных выбросов Черномыльской АЭС, начались 13 мая по приказу Минздрава РСФСР в Брянской, Тульской и Орловской областях в радиоизотопных лабораториях областных больниц и онкодиспансеров по стандартным методикам радиодиагностического обследования ЩЖ с применением ^{131}I на диагностических приборах «Гамма» и ГТРМ [13–16]. Всего в 3 областях в течение месяца было обследовано около 5000 человек, и эти измерения считаются наиболее достоверными, однако индивидуальные опросы о поведении и питании в аварийный период, необходимые для построения функции поступления радиойода в организм обследуемых, не проводили.

С 31 мая по 7 июня 1986 г. в Брянской области и с 17 по 31 мая 1986 г. в Калужской области измерения содержания ^{131}I в ЩЖ жителей проводили непосредственно в НП наиболее загрязненных районов с использованием геологоразведочных радиометров СРП-68-01. В Калужской области было обследовано более 28 000 человек, в Брянской области – около 12 000 человек [13, 14, 17]. Методические подробности проведения измерений и вычисления активности ^{131}I в ЩЖ жителей по результатам измерений приведены в [13–16, 18–20].

Активность ^{131}I в ЩЖ жителей, измеренная в мае – июне 1986 г. разными методами и разными приборами, была определена для 45 000 жителей 4 областей. Наибольшее содержание ^{131}I в ЩЖ было зарегистрировано в середине мая 1986 г. в Красногорском районе Брянской области, где некоторые индивидуальные измерения доходили до 250–360 кБк ^{131}I , а средние значения для НП – до 80 кБк [13–15, 20]. В этот же период в 5 других наиболее загрязненных районах Брянской области средние значения содержания ^{131}I в ЩЖ жителей составляли 5–20 кБк, в наиболее загрязненных районах Тульской области – 5–8 кБк, в Орловской области – 2–5 кБк [13, 14, 20].

В тех населенных пунктах, где не проводили измерения жителей на содержание ^{131}I в ЩЖ, для оценки дозы использовали измерения удельной активности ^{131}I в молоке. Радиационный мониторинг молока и других пищевых продуктов проводили сотрудники областных центров санитарного надзора под методическим руководством и контролем НИИ радиационной гигиены (НИИРГ), начиная с 1 мая 1986 г. В Брянской, Калужской и Орловской областях было выполнено около 4000 исследований проб молока на суммарную бета-активность на приборе ДП-5. В Брянской области было выполнено около 100 радиохимических анализов молока, которые позволили выделить из суммарной бета-активности долю активности, обусловленную ^{131}I . В Тульской области на одноканальной спектрометрической установке в энергетическом окне излучения ^{131}I было измерено более 2000 проб молока. Измерения, проведенные в 4 областях, позволили оценить эффективную скорость снижения концентрации ^{131}I в молоке (за счёт радиоактивного распада радионуклида

и процессов биологического снижения активности в пастбищной траве), скорость снижения активности ^{131}I в молоке, а также показали, что молоко местного производства является основным фактором внутреннего облучения человека радиоизотопами йода и цезия [13–16, 20–22].

Осенью – зимой 1986–1987 гг. в загрязненных районах Брянской области проводили всеобщую диспансеризацию населения, в рамках которой сотрудники НИИРГ выполняли измерения содержания радионуклидов цезия в организме жителей и заполняли дозиметрический вкладыш к карте обследования на каждого измеренного человека. Дозиметрический вкладыш был дополнен вопросами, необходимыми для реконструкции дозы в ЩЖ у обследованных жителей. Таким образом была получена информация о рационах питания жителей, суточном потреблении молока в мае 1986 г., датах прекращения потребления молока из личного хозяйства и датах начала выпаса личного скота в апреле – мае 1986 г., об отсутствии или применении блокады ЩЖ препаратами стабильного йода в мае 1986 г. Было получено более 12 000 анкет в Брянской области и около 2000 в Тульской области. Все эти ответы использовали для построения обобщенной функции поступления ^{131}I в организм жителей [13–16, 21, 23]. Дополнительные сведения о датах выпаса общественного молочного стада и о проведенных защитных мероприятиях в НП собирали в последующие годы среди руководителей колхозов/совхозов, а также рассчитывали по агроклиматической модели [24].

Модель поступления ^{131}I в организм человека и оценка дозы в ЩЖ по результатам измерений

Основными путями поступления ^{131}I в организм человека после Чернобыльской аварии были: вдыхание радионуклидов во время прохождения радиоактивного облака, потребление загрязненного молока, существенно меньшее поступление за счёт потребления ранних листовых овощей, а также других продуктов с возможным поверхностным загрязнением.

В первые годы после аварии для оценки доз в ЩЖ по результатам измерений использовалась упрощенная модель поступления ^{131}I в организм: равномерное поступление в течение 10 дней после радиоактивного выпадения в ареале НП, затем поступление уменьшалось со скоростью снижения удельной активности ^{131}I в молоке. Начальная «ступенька» моделировала суммарное поступление радионуклида в организм жителей за счет ингаляции при прохождении радиоактивного облака и вторичной ресуспензии радионуклидов в последующие дни и потребление молока, в котором концентрация ^{131}I увеличивалась в течение 5–8 дней при выпасе коров на загрязненном пастбище. В сумме эти 2 источника давали примерно равномерное поступление ^{131}I в организм человека в течение 10 дней после радиоактивного загрязнения местности. Анализ рационов питания жителей и результаты радиационного контроля пищевых продуктов в мае 1986 г. показали, что основное поступление радио-

нуклидов йода и цезия происходило с молоком местного производства, поэтому в модели скорость снижения поступления ^{131}I принята равной эффективной скорости снижения удельной концентрации ^{131}I в молоке [9, 13, 14, 25]. Начальное поступление (высота «ступеньки») рассчитывалось из решения обратной задачи описания по данной модели измеренного содержания ^{131}I в ЩЖ.

В последующие годы была обоснована более детальная дозиметрическая модель, в которой были оценены вклады отдельных составляющих поступления: с воздухом, молоком, листовыми овощами с учётом дат начала выпаса молочного скота, дат прекращения потребления молока местного производства, приёма препаратов стабильного йода [15, 16, 23].

Описанным методом оценены дозы от излучения ^{131}I в ЩЖ 12 723 жителей Брянской области, 3835 жителей Орловской области, 647 жителей Тульской области и 27 877 человек в Калужской области [17]. Наибольшие «измеренные» индивидуальные дозы облучения ЩЖ у детей 0–3 лет в юго-западных районах Брянской области достигали 5 Гр.

Оценка средних для населённых пунктов доз в щитовидной железе жителей 4 областей РФ

По результатам прямых измерений ^{131}I в ЩЖ в соответствии с принятой моделью поступления радионуклидов человеку были рассчитаны средние для НП дозы для жителей разного возраста и получены зависимости средних поглощенных доз в ЩЖ от возраста в сельских и городских НП [13, 25]. В сельских НП дозы в ЩЖ младенцев менее 1 года в 4–6 раз превышали дозу у взрослых жителей, в городах это различие достигало 10–12 раз. Такие возрастные зависимости объясняются разным потреблением молока городскими и сельскими жителями [21]. Для оценки дозы в тех НП, где не было прямых измерений ЩЖ жителей, использовали уравнения корреляции средних для НП доз в ЩЖ с измеренными концентрациями ^{131}I молока в тех же сёлах и с уровнем загрязнения почвы радионуклидами ^{137}Cs . Методические подробности оценки средних для НП доз в ЩЖ жителей 4 областей РФ приведены в [15, 16, 23].

После определения средних доз в ЩЖ жителей каждого НП для оценки дозы в разных возрастных группах использовали зависимости средних доз от возраста, а также реальных условий выпаса молочного скота и выполненных защитных мер с помощью соответствующих поправок на эти факторы, согласно принятой модели поступления ^{131}I в организм жителей России. При наличии сведений об образе жизни во время аварии конкретного человека можно индивидуализировать поправки к стандартным условиям и оценить индивидуализированную дозу в ЩЖ данного человека.

Представленные в [14–16, 20] исходные данные мониторинга радиационной обстановки и методические приёмы их обработки были применены для разработки официальных методических указаний¹, на основе которых

¹ МУ 2.6.1.1000-00 «Реконструкция дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году» [МУ 2.6.1.1000-00 «Reconstruction of the radiation dose of radioisotopes of iodine in the thyroid gland of the inhabitants of the settlements of the Russian Federation exposed to radioactive contamination as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986» (In Russ.)]

был создан каталог средних доз в ЩЖ у жителей разного возраста, проживавших в 1986 г. в населённых пунктах с загрязнением территории ^{137}Cs выше 37 кБк/м² (1 Ки/км²) в Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областях [26]. Оценки дозы в ЩЖ даны для всех НП, которые включены в «Перечень населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», утвержденный Правительством РФ 18.12.1997 г. В таблице 1 представлено распределение НП загрязненных территорий (выше 37 Бк/м² по ^{137}Cs) по уровню средних доз в ЩЖ для 6 возрастных групп жителей. В них проживало около 350 000 человек в Брянской области, 730 000 человек в Тульской области, 150 000 человек в Орловской области и менее 100 000 человек в Калужской области [26, 27].

В Брянской области практически все дети младше 8 лет из НП с загрязнением ^{137}Cs выше 37 кБк/м² получили дозы в ЩЖ больше 0,05 Гр; в западных районах в 141 НП средние дозы излучения ^{131}I в ЩЖ детей младших возрастных групп превышали 1 Гр, а в 12 НП – 2,5 Гр. В Калужской, Орловской и Тульской областях большая часть средних доз в ЩЖ детей дошкольного возраста

оценена в пределах 0,05–0,5 Гр, в старших возрастных группах средние дозы в 2–6 раз ниже.

Аналогичные каталоги средних доз в ЩЖ жителей разных возрастных групп были подготовлены для Белгородской, Воронежской, Курской, Ленинградской, Липецкой и Рязанской областей. В этих областях практически все оценки средних доз в ЩЖ жителей не превышали 0,1 Гр.

Коллективные дозы излучения в ЩЖ жителей наиболее загрязненных областей РФ с общим населением 5,3 млн человек составили в Брянской области 60 000 чел.-Гр, в Тульской области – 20 000 чел.-Гр, в Орловской области – 13 000 чел.-Гр, в Калужской области – 3500 чел.-Гр [15, 27]. В общем для 15 областей России с населением 24 млн человек, подвергшихся загрязнению ^{137}Cs выше 37 кБк/м², коллективная доза оценена в 210 000 чел.-Гр [15, 27].

Примерно 60% коллективной дозы реализовались у городских жителей и 40% – у сельских жителей. В то же время средние дозы у городского населения примерно в 1,5 раза ниже, чем у сельских жителей, при равной плотности радиоактивных выпадений. Около половины всей коллективной

Распределение населенных пунктов 4 областей с выпадением ^{137}Cs на почву выше 37 кБк/м² в 1986 г. по уровням средних доз в ЩЖ жителей разного возраста [26]

Таблица 1

Distribution of settlements with ^{137}Cs soil contamination above 37 kBq/m² in 1986 in four regions on mean thyroid dose in inhabitants of different age [26]]

[Table 1

Диапазон доз, мГр	Возрастные группы, лет [Age groups, years]					
[Dose range, mGy]	< 1	1–2	3–7	8–12	13–17	≥18
Брянская область [Bryansk region]						
0–50	–	–	1	36	83	373
50–200	45	162	593	734	768	531
200–500	588	560	277	186	109	63
500–1000	199	180	89	15	12	6
1000–2500	129	66	13	2	1	–
≥ 2500	12	5	–	–	–	–
Тульская область [Tula region]						
0–50	33	152	791	1144	1249	373
50–200	1159	1111	512	160	56	19
200–500	111	41	2	1	–	–
500–1000	2	1	–	–	–	–
Орловская область [Orel region]						
0–50	2	28	366	795	878	897
50–200	826	857	534	105	22	3
200–500	72	15	–	–	–	–
500–1000	–	–	–	–	–	–
Калужская область [Kaluga region]						
0–50	5	10	166	257	305	335
50–200	279	315	186	95	47	17
200–500	68	27	–	–	–	–
500–1000	–	–	–	–	–	–

дозы в Брянской области с населением 1,5 млн человек приходится на 270 000 жителей, проживающих в 6 наиболее загрязненных юго-западных районах.

Полученные оценки средних доз в ЩЖ были переданы в Российский государственный медико-дозиметрический регистр и явились основой для анализа заболеваемости и выделения когорты долгосрочного наблюдения из населения 4 областей РФ с наибольшими уровнями радиоактивных выпадений, для последующих эпидемиологических исследований связи заболеваемости раком ЩЖ с полученным радиационным воздействием и оценки риска радиогенных заболеваний раком ЩЖ в разных возрастных категориях.

Прогноз медицинских последствий облучения щитовидной железы

Уже летом 1986 г. стало ясно, что острых эффектов – лучевой болезни различной степени тяжести у населения загрязненных территорий выявлено не было [28]. Однако оставалось беспокойство о развитии отдаленных канцерогенных заболеваний среди облученного населения, в первую очередь, это относилось к наиболее облученному органу – ЩЖ. На основании первых оценок радиационного воздействия на население были сделаны прогнозы возможных отдаленных медицинских последствий [9–12, 29]. Они базировались на имеющейся к тому времени информации об эпидемиологических наблюдениях за жителями Японии, пережившими атомные бомбардировки в 1945 г., и за несколькими группами пациентов, получавших внешнее рентгеновское облучение в детском возрасте с терапевтической целью по поводу неонкологических заболеваний, когда в поле облучения попадала ЩЖ [30].

Во всех этих многолетних наблюдениях обследуемые получили кратковременное внешнее гамма- или рентгеновское излучение в дозах от 0,04–0,08 Гр до 10 Гр. В большинстве исследований было обнаружено повышение заболеваемости раком ЩЖ по сравнению с контролем, пропорционально полученной дозе, у женщин дополнительная заболеваемость в 2–3 раза превышала заболеваемость мужчин, были также обнаружены некоторые этнические различия в появлении дополнительных заболеваний раком ЩЖ; данные о влиянии возраста в момент облучения были противоречивыми [30].

В то же время длительное наблюдение в Швеции за 10 000 пациентов, которые получали в диагностических целях ^{131}I , со средней дозой в ЩЖ у лиц в возрасте старше 20 лет 0,6 Гр, моложе 20 лет – 1,6 Гр, повышения частоты заболеваний раком ЩЖ не выявило [31]. Многочисленные экспериментальные работы на лабораторных животных с целью сравнения эффективности канцерогенного воздействия на ЩЖ внешнего гамма-/рентгеновского излучения и внутреннего облучения радиоизотопами йода оказались неоднозначными: коэффициент снижения эффективности ^{131}I оценивался от 10-кратного до равного 1 по сравнению с кратковременным внешним облучением. Экспериментальные данные о биологической эффективности облучения с малой дозой и мощностью дозы по сравнению с острым внешним облучением в большой дозе показывали такой же диапазон значений [30].

Ранние отечественные прогнозы медицинских последствий облучения ЩЖ населения вследствие аварии на ЧАЭС [10–12] ссылаются на оценки риска и параметры

канцерогенной эффективности ^{131}I из докладов НКДАР ООН 1977, 1982 и 1986 гг., причем основные данные по отдаленным эффектам облучения ЩЖ содержатся в докладе 1977 г. [30]. В этой публикации обсуждались все доступные, часто фрагментарные и противоречивые, данные по вопросам радиационного канцерогенеза для ЩЖ, из которых авторы [10–12] выбрали разные коэффициенты риска и модифицирующие факторы. Видимо, этой возможностью разного выбора параметров для расчета прогнозов, представленных в таблице 2, объясняется их значимое отличие друг от друга. В таблице 2 представлены только прогнозы, разработанные до 1995 г, т.е. до того времени, когда рост заболеваемости раком ЩЖ среди детей, получивших облучение железы йодом-131 в 1986 г., стал фактом.

Авторы ранних прогнозов располагали первыми оценками коллективных доз в ЩЖ, основанных на измерениях содержания ^{131}I в пищевых продуктах и в ЩЖ жителей 4 областей РФ. Обработка дозиметрических данных продолжалась, и в наиболее зрелом виде коллективные дозы в ЩЖ жителей были представлены специалистами ФБУН НИИРГ в НКДАР ООН и опубликованы в [1, табл. В10–В12]: 60 500 чел.-Гр в Брянской области и 96 000 чел.-Гр в 4 областях, включая Брянскую область. Эти оценки незначительно отличаются от первых оценок, использованных в [10–13].

В работах [10–12] используют сходные оценки средних и коллективных доз облучения ЩЖ, однако оценки прогнозируемой заболеваемости для наиболее радиочувствительной части населения – детей до 7 лет во время аварии, – различаются более чем на порядок, например, для 5 наиболее загрязненных районов Брянской области от 16 до 200 случаев радиогенных заболеваний раком ЩЖ за жизнь. Можно предположить, что различия обусловлены выбором разных значений факторов снижения радиобиологической эффективности ^{131}I и пролонгированного внешнего и внутреннего облучения по сравнению с кратковременным внешним облучением.

В работе НИИРГ [11] по сохранившимся черновикам удалось восстановить, что прогноз сделан на основе следующих положений, вытекающих из доклада НКДАР ООН 1977 г. [30]: коэффициент пожизненного риска возникновения радиогенного рака ЩЖ принят равным $100 \cdot 10^{-4}$ случаев/(чел.-Гр) независимо от возраста и пола, причем суммировалась доза в ЩЖ от ^{131}I и доза долгосрочного внешнего и внутреннего облучения радионуклидами цезия без понижающих коэффициентов. Это втрое выше современной оценки такого риска [32, табл. А.4.1 и А.4.18].

В работах [10–12] для наиболее загрязненных районов 4 областей (Брянской, Тульской, Орловской и Калужской) заболеваемость всего населения прогнозировали в пределах от 70 до 1400 дополнительных заболеваний раком ЩЖ, а среди детей 0–6 лет на день аварии от 30 до 340 дополнительных случаев. Большая часть прогнозируемых случаев приходится на наиболее загрязненные районы Брянской области (280 000 населения): от 50 до 1000 дополнительных случаев среди всех возрастов, из них на детей до 7 лет в 1986 г. от 16 до 200 случаев.

В работе [12] с наименьшими оценками прогноза коэффициенты риска рассчитаны по данным доклада НКДАР ООН 1988 г. [33], с учетом в 3 раза большей радио-

Таблица 2

[Table 2]

Ранние прогнозы радиогенной заболеваемости раком щитовидной железы у населения РФ вследствие аварии на Чернобыльской АЭС

Early forecasts of thyroid cancer incidence in the population of the Russian Federation due to radiation exposure to after the accident at the Chernobyl NPP¹

Публикация [Reference]	Территория [Territory]	Население, тыс.чел. [Population, ths. persons]		Средняя доза в ЩЖ детей до 7 лет, мГр [Mean thyroid dose of children under 7 y, mGy]	КД в ЩЖ от ¹³¹ I, тыс. чел.-Гр [Collective thyroid dose from ¹³¹ I, ths. pers Gy]		КД всего тела, тыс. чел.-Гр *) [Whole body collective dose, ths. pers Gy]	Период прогноза, лет [Forecast period, years]	Число прогнозируемых РЩЖ [Number of predicted thyroid cancer cases]		Комментарии [Comments]
		Всё население ² [Total population ²]	Дети до 7 лет [Children under 7 years]		Всё население ² [Total population ²]	Дети до 7 лет [Children under 7 years]			Всё население ² [Total population ²]	Дети до 7 лет [Children under 7 years]	
Булдаков и др., 1987 [10]	Брянская обл.: наибольшее p/a загрязнение [Bryansk region: areas with larger radionuclide deposition] 4 области, районы наибольшего p/a загрязнения [4 regions, districts with larger radionuclide deposition]	205	24	600	50	15	50	70	1000	72	Коллективная доза в ЩЖ, модель абсолютного риска из доклада НКДАР ООН 1977 г. [30] [Collective thyroid dose, additive risk model from 1977 UNSCEAR report [30]]
		490	55	500	74	27	62	70	1350	88	
Рамзаев и др., 1987 [11]	Брянская обл., 5 районов [Bryansk region, 5 districts] 4 области, районы наибольшего p/a загрязнения [4 regions, districts with larger radionuclide deposition]	280	30	600	50	15	50	70	1000	200	Коллективная доза в ЩЖ, модель абсолютного риска из доклада НКДАР ООН 1977 г. Коэф. пожизненного риска для РЩЖ – 100·10 ⁻⁴ случаев/чел.-Гр [30]. [Collective thyroid dose, additive risk model from 1977 UNSCEAR report. Lifetime risk coefficient for thyroid cancer – 100 10 ⁻⁴ cases per person Gy [30]]
		600	63	500	76	28	63	70	1400	340	

² Включая детей до 7 лет.

Публикация [Reference]	Территория [Territory]	Население, тыс. чел. [Population, ths. persons]		Средняя доза в ЩЖ детей до 7 лет, мГр [Mean thyroid dose of children under 7 yr, mGy]	КД в ЩЖ от ¹³¹ I, тыс. чел.-Гр [Collective thyroid dose from ¹³¹ I, ths. pers Gy]		КД всего тела, тыс. чел.-Гр *) [Whole body collective dose, ths. pers Gy]	Период прогно- за, лет [Forecast period, years]	Число прогнози- руемых РЩЖ [Number of predicted thyroid cancer cases]		Комментарии [Comments]
		Всё насе- ление ² [Total popu- lar-tion ²]	Дети до 7 лет [Children under 7 years]		Всё насе- ление ² [Total popu- lar-tion ²]	Дети до 7 лет [Children under 7 years]			Всё насе- ление ² [Total popu- lar-tion ²]	Дети до 7 лет [Children under 7 years]	
Ильин и др. 1990 [12]	Брянская обл.: Вся область. – [Bryansk region: total region]	1470	160		50	25	50 (5)	30	50	21	Коеф. риска рака ЩЖ: для детей: внешнее γ-излучение – 2,5·10 ⁻⁴ ; от ¹³¹ I 8,3·10 ⁻⁵ случаев/ год/чел.Гр; Для взрослых: 1,66·10 ⁻⁴ и 5,5·10 ⁻⁵ . Фактор коррекции на малую мощность дозы внешнего облучения – 0,2. [Thyroid cancer risk coefficients: For children: external γ- 2,5·10 ⁻⁴ ; internal ¹³¹ I – 8,3·10 ⁻⁵ cases per year per person Gy; For adults: 1,66·10 ⁻⁴ and 5,5·10 ⁻⁵ . Correction factor for low dose rate of external radiation – 0,2]
	5 районов [5 districts]	280	29,8	600	36	18	44 (5)		36	16	
	4 области, 19 райо- нов наибольшего р/а загрязнения [4 regions, 19 districts with larger radionuclide deposition]	704	75	470	70	35	60 (6)	30	70	30	
Zvonova, Balonov, 1993 [13]	Брянская обл.: [Bryansk region:]	1500			55				160 ³	–	Коеф. риска по [34]: внешнее γ-излучение: 2,5·10 ⁻⁴ для детей <18 лет, для взрослых – 1,25·10 ⁻⁴ ; от ¹³¹ I: 8·10 ⁻⁵ для детей, 4·10 ⁻⁵ для взрослых случаев/год/чел.Гр. [Risk coefficients according to [34]: external γ- 2,5·10 ⁻⁴ for children under 18 yr., for adults – 1,25·10 ⁻⁴ ; from internal ¹³¹ I – for children 8·10 ⁻⁵ , for adults, 4·10 ⁻⁵ cases per year per person Gy.]
	Вся область – [Total region]										
	Контролируемая территория (>555 кБк/м²) [Controlled area (>555 kBq/m²)]	112	–	–	22			70	67	34	
	3 области (Брянск, Орёл, Тула) целиком [3 total regions (Bryansk, Orel, Tula)]	4300	11,3	600	120	6,6	10-20		349	–	

*) КД облучения всего тела от длительного внешнего и внутреннего излучения для всего населения, в скобках КД для детей в данной группе населения. [Whole-body CD from long-term external and internal radiation for the total population, in parentheses CD for children in this population.]

³ Только от внутреннего облучения йодом-131. [From ¹³¹I internal exposure only]

чувствительности ЩЖ у женщин, чем у мужчин, и российской возрастно-половой структуры населения: для детей до 7 лет и взрослых от внутреннего облучения ЩЖ ^{131}I $8,3 \cdot 10^{-5}$ и $5,5 \cdot 10^{-5}$ случаев/год/чел.-Гр; для пролонгированного внешнего и внутреннего от ^{137}Cs облучения введен корректирующий фактор 0,2. Кроме того, авторы считали, что все радиационные эффекты в ЩЖ реализуются за 35 лет после радиационного воздействия, из них первые 5 лет – латентный период. В других работах прогноз рассчитывали на 70 лет жизни, и поправки на пролонгированное облучение с малой мощностью дозы не вводили. Всё это привело к очень низкому прогнозу радиогенной заболеваемости раком ЩЖ в работе [12].

Обобщение эпидемиологических и экспериментальных исследований по последствиям облучения ЩЖ было сделано в 1985 г. Национальной комиссией по радиационной защите США (НКРЗ США) в публикации 80 [34], которая стала доступной российскому научному сообществу лишь в 1990-е гг. Выводы доклада базировались на анализе североамериканских эпидемиологических исследований пациентов, облучённых в детском возрасте по поводу нераковых заболеваний. Результаты наблюдений за жителями Японии, пережившими атомные бомбардировки в 1945 г., не использовали, так как раковый регистр когорты пожизненного наблюдения (Life Span Study – LSS) выживших японцев начал функционировать на 13 лет позже [30, 35], пропустив ранний период роста радиогенной заболеваемости ЩЖ. Таким образом в публикации [34] были сформулированы следующие выводы:

1. При дозах в ЩЖ в диапазоне 0,06–15 Гр не происходит гибели клеток ткани железы.
2. Средний коэффициент риска составляет 2,5 случая заболеваний раком ЩЖ на 10 000 чел.-Гр в ЩЖ в год для лиц в возрасте до 18 лет ($2,5 \cdot 10^{-4}$ случаев/год/чел.-Гр) от острого внешнего гамма- и рентгеновского облучения.
3. Риск для взрослых примерно вдвое ниже, чем для детей, а для женщин вдвое выше, чем для мужчин.
4. Минимальный латентный период возникновения радиационно-индуцированного рака ЩЖ – 5 лет, а время возможного проявления повышенной заболеваемости раком – до 40 лет после облучения.
5. Смертность от рака ЩЖ оценивалась в 10% заболеваемости (МКРЗ считала, что 5%).
6. Эффективность внутреннего облучения ЩЖ ^{131}I в среднем в 3 раза ниже, чем острого внешнего гамма- и рентгеновского облучения.
7. Облучение с низкой мощностью дозы примерно в 3 раза менее эффективно, чем облучение с высокой мощностью дозы в больших дозах (есть информация о диапазоне значений 2–10).

В нашей работе [13] заболеваемость раком ЩЖ прогнозировали в соответствии с рекомендациями публикации 80 НКРЗ США [33]. Этот прогноз также предсказывал невысокие значения дополнительных случаев заболеваемости – 160 случаев для всего населения Брянской области, из них более 40% среди 112 тысяч жителей территорий строгого контроля (выпадения ^{137}Cs выше 555 кБк/м^2), причем половину этих случаев прогнозировали среди детей младше 7 лет на день аварии. За счёт пролонгированного внешнего и внутреннего облучения ^{137}Cs с учётом выполненных мер защиты населения могло добавиться 15–20 случаев на контролируемой территории.

В работе [13], как и в более ранних работах [10–12], использовали аддитивную модель оценки риска отдалённых последствий облучения. Такая модель не привязана к спонтанной заболеваемости, прогноз исходит из полученной коллективной дозы у жителей, а дополнительная заболеваемость прибавляется к спонтанной.

На международной конференции «10 лет после Чернобыля» [36] подводили итоги изучения радиационного воздействия на здоровье населения, в том числе обсуждали результаты международных проектов по дозиметрии облучения населения, прогнозы медицинских последствий и первые наблюдения роста заболеваемости раком ЩЖ детей в наиболее загрязнённых районах. Сравнение прогнозов с заболеваемостью раком ЩЖ среди детей и подростков в Белоруссии, России и Украине за 10 лет после аварии показали, что реальная заболеваемость в несколько раз превышала прогнозы, например, в Гомельской области Белоруссии – до 10 раз [37]. Обсуждение возможных причин расхождения не внесло ясности, поэтому было принято заключение о необходимости изучать последствия внутреннего облучения населения радиоизотопами йода для последующей оценки коэффициентов риска. Особое внимание предлагалось уделять мультипликативной модели оценки риска, которая должна более адекватно учитывать местные особенности спонтанной заболеваемости раком ЩЖ населения.

Заболеваемость населения РФ раком щитовидной железы после аварии на ЧАЭС

Повышение заболеваемости раком ЩЖ у детей произошло в начале 1990-х гг. На рисунке 1 показана годовая заболеваемость детей Брянской области в возрасте 0–14 лет на дату постановки диагноза за 1981–2007 гг. Заболеваемость раком ЩЖ населения Брянской области представлена по официальным данным Брянского онкологического диспансера. Заключительный диагноз устанавливался по результатам клинического обследования,

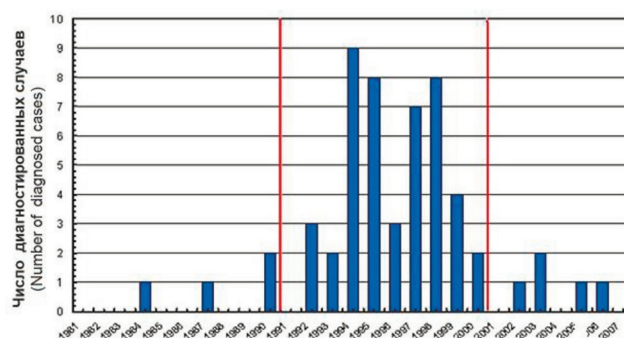


Рис. 1. Диагностированные случаи рака ЩЖ у детей в возрасте 0–14 лет на дату диагноза в Брянской области в 1981–2007 гг. ([38] + неопубликованные собственные данные за 2002–2007 гг.). Красными линиями выделен конец минимального латентного периода (1991 г.) и период времени (2001 г.), когда все дети в возрасте 0–14 лет на день аварии перешли в возрастную категорию подростков

[Fig. 1. The diagnosed cases of thyroid cancer in children aged 0–14 years at the date of diagnosis in the Bryansk region for 1981–2007 ([38] + unpublished own data for 2002–2007). The red lines mark the end of the minimum latency period (1991) and the time period (2001) when all children aged 0–14 years on the day of the accident passed into the teenage age category]

цитологического анализа и послеоперационного гистологического анализа, который имелся в среднем в 65% случаев в 1981–1985 гг., в 89% случаев в 1986–1991 гг. и у всех пациентов, начиная с 1992 г. [38].

Рак ЩЖ – редкое заболевание: у взрослых жителей в 1980-е гг. в европейской части РСФСР заболеваемость была на уровне 20–40 случаев в год на 1 млн жителей, а у детей – 1–2 случая на 1 млн детского населения в год. На таком фоне рост заболеваемости раком ЩЖ после Чернобыльской аварии среди 305 000 детей Брянской области стал очень заметным в период 1991–2000 гг. Начиная с 2001 г., заболеваемость детей резко уменьшилась, так как в возрастной группе 0–14 лет уже не было детей, облученных во время Чернобыльской аварии, все они перешли в группы медицинского наблюдения подростков и взрослых. Аналогичные данные получены в Белоруссии и Украине [1, 39].

В то же время среди группы лиц, возраст которых в 1986 г. был меньше 15 лет, продолжался рост заболеваемости раком ЩЖ и в последующие годы (рис. 2). Рост числа заболеваний в группе детей на день аварии обусловлен несколькими факторами: естественным увеличением спонтанной заболеваемости с возрастом, совершенствованием методов и аппаратуры для УЗИ-диагностики и радиационным воздействием радиоактивного йода после аварии на ЧАЭС.

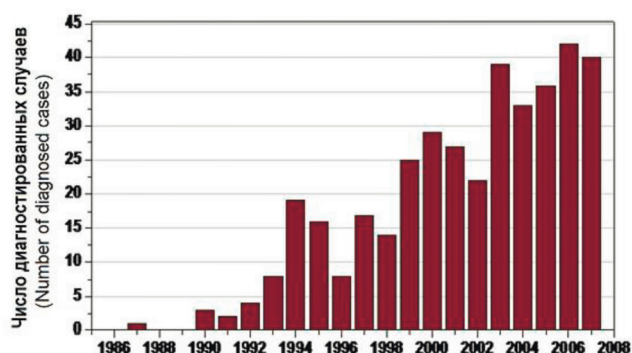


Рис. 2. Диагностированные случаи рака ЩЖ у жителей Брянской области, возраст которых был меньше 15 лет на день аварии на ЧАЭС – 26 апреля 1986 г. (305 000 чел.) ([40] + неопубликованные собственные данные за 2002–2007 гг.)
Fig. 2. The diagnosed cases of thyroid cancer in residents of the Bryansk region, who were younger than 15 years on the day of the Chernobyl accident – April 26, 1986 (305 000 people) ([40] + unpublished own data for 2002–2007)]

За период 1991–2001 гг. среди детей 0–14 лет на дату аварии в Брянской области (305 000 детей) было выявлено 172 заболевания раком ЩЖ [38, 40]. Для выделения из них случаев, индуцированных радиацией, в этом исследовании за спонтанный уровень была принята средняя заболеваемость населения Брянской области за 1987–1989 гг., когда радиогенная патология ещё не проявилась, но проявились эффекты скрининга населения юго-западных районов при диспансеризации и более передовая техническая оснащённость исследований ЩЖ. На последующие годы спонтанную заболеваемость за 1987–1989 гг. пересчитывали с учётом взросления населения и смертности в 5-летних когортах населения (группировка

по 5-летним интервалам по 1986 г.). Из полученных данных 2/3 случаев (~65%) отнесены на счёт радиационного воздействия (доверительный интервал 50–80%) [38, 40], заболевания проявились после 5-летнего латентного периода. Из этой средней оценки в возрастной группе 0–4 года радиационным фактором объясняется более 90% случаев (60 из 65 случаев), в группе 5–9 лет – около 70% (30 из 44), в группе 10–14 лет – около 40%, 15–19 лет – 8% [40]. При наблюдении за той же когортой лиц до 2007 г. было диагностировано 382 рака ЩЖ (см. рис. 2).

Стоит отметить, что в работе [40] показано, что примерно половина дополнительных заболеваний раком ЩЖ детей 0–14 лет на дату аварии в Брянской области за период 1991–2001 гг. были выявлены среди жителей относительно слабо загрязнённых территорий. Хотя средние дозы в ЩЖ в этих районах были меньше, чем на контролируемой территории, там проживало в четыре раза больше детей (около 250 тыс. человек), чем в 6 наиболее загрязнённых юго-западных районах (примерно 60 000 человек). Коллективные дозы в ЩЖ детей оказались примерно равными в этих группах населения, что могло инициировать заболевания пропорционально полученной коллективной дозе в этих не равных по численности и территории проживания группах населения.

В работах [41, 42] исследовали заболеваемость раком ЩЖ в когортах из 108 000 детей и подростков 0–17 лет на дату аварии и 219 500 взрослых из наиболее загрязнённых районов 4 областей РФ, которые включены в Национальный радиационно-эпидемиологический регистр (НРЭР) и которые ежегодно проходят медицинские осмотры. За период с 1991 по 2013 г. было выявлено 316 случаев рака ЩЖ среди детей и подростков и 925 случаев среди взрослых старше 18 лет. Проведенный анализ показал, что среди всех заболеваний детей и подростков к радиационно-индуцированным относятся 22,5%, но в возрастной группе 0–4 года эта доля составляет 60,5% – 52 случая из 86, в группе 5–9 лет – 30%; 10–17 лет – 2,6% [41]. С этими результатами хорошо согласуются оценки работы [40].

При продолжении наблюдения за той же когортой до 2019 г. было выявлено 423 случая рака ЩЖ, из них 20,6% (87 случаев) отнесены за счёт полученного в 1986 г. облучения. При этом доля заболеваний, отнесенных к радиационному фактору, в группе детей 0–4 года практически не изменилась – 58%, в группе 5–9 лет уменьшилась до 18%, в группе 10–17 лет составляла 4% [42]. Представленные данные дают основания заключить, что младшая возрастная группа детей наиболее выражено и продолжительно реагирует на облучение ЩЖ радиоизотопами йода, а у старших детей и подростков доля радиационно-индуцированных заболеваний существенно снизилась по прошествии 30 лет после аварии.

В 2018 г. НКДАР ООН обобщил сведения о заболеваемости раком ЩЖ среди детей и подростков (0–17 лет на день аварии 26.04.1986) в Белоруссии, Украине и в 4 наиболее загрязнённых областях России за 30 лет после аварии на ЧАЭС [39]. Всего выявлено за период 1991–2015 гг. (по прошествии 5 лет латентного периода) более 19 000 заболеваний раком ЩЖ: в Белоруссии 5906, Украине – 11 489, в 4 областях России – 1838 случаев. Для возрастной категории 0–14 лет на дату аварии оценки заболеваемости для каждой страны составляют: 4628, 8546 и 1351 случай соответственно.

За период 1991–2005 гг. среди молодых людей моложе 19 лет на дату аварии было выявлено 6848 случаев рака ЩЖ и 5127 случаев в возрастной группе 0–14 лет [1], т.е. число заболеваний за 10 лет увеличилось к 2015 г. в 2,8 раза для этих возрастных групп. Столь быстрый рост заболеваемости объясняется, в первую очередь, тем, что наблюдаемая когорта облученных детей повзрослела, а молодые взрослые характеризуются более высокой спонтанной заболеваемостью: в 2000-е гг. в РФ заболеваемость молодых взрослых 20–29 лет была примерно на порядок выше, чем среди детей 0–14 лет и в 100 раз больше, чем в возрастной группе 0–9 лет [43]. Второй важный фактор – улучшение технического оснащения УЗИ-диагностики во всех странах и в первую очередь – в радиоактивно загрязненных областях. В-третьих, происходит рост естественной онкологической заболеваемости во всех странах, например, с начала 1990-х гг. удвоение заболеваемости раком ЩЖ в РФ произошло за 15 лет [43]. В настоящее время прирост злокачественных новообразований ЩЖ существенно замедлился. На этом фоне доля заболеваний, вызванных радиационным воздействием в детском и молодом возрасте, становится всё меньше, и её труднее выявить.

НКДАР ООН оценил долю радиогенных заболеваний раком ЩЖ у неэвакуированных детей и подростков моложе 19 лет на день аварии в Белоруссии, России и Украине в 25% для периода наблюдения 1991–2015 гг. с интервалом погрешности от 0,07 до 0,5 [39]. Основываясь на этой оценке, за счёт облучения в 1986 г. можно отнести около 5000 случаев рака ЩЖ в 3 странах, а отдельно в РФ – 460 случаев для 4 областей с диапазоном возможных оценок от 130 до 900 случаев.

Если применить возрастные особенности выявленных радиогенных заболеваний раком ЩЖ из работ [41, 42] к результатам 30-летних наблюдений в 4 областях РФ [39], то можно оценить, что в РФ из диагностированных 460 заболеваний на детей в возрасте 0–6 лет на дату аварии можно отнести примерно 300 случаев. Для такого же возрастного контингента в 4 областях РФ в работе [11] прогнозировали пожизненное появление 340 радиационно-индуцированных раков ЩЖ среди 63 000 детей до 7 лет, в работе [10] – 88 случаев среди 55 000 детей, проживавших в районах 4 областей РФ с наибольшими радиоактивными выпадениями.

Эти прогнозы для целых 4 областей РФ, которые можно сравнить с наблюдениями [39], должны быть выше. Так, в [40] показано, что за первые 15 лет после аварии в 22 районах Брянской области с меньшими уровнями выпадений (включая город Брянск) было диагностировано столько же дополнительных случаев рака ЩЖ среди детей 0–14 лет, как в 6 районах с наибольшими выпадениями. С учетом этого факта, можно заключить, что использованная в [10, 11] простая аддитивная модель риска показала разумное согласие с наблюдаемой в РФ радиогенной заболеваемостью детей раком ЩЖ за 30 лет после аварии на Чернобыльской АЭС.

В ранних прогнозах [10–13] большая часть заболеваний раком ЩЖ предполагалась среди взрослого населения. Эти оценки для всего населения 4 областей и отдельно Брянской области не нашли эпидемиологического подтверждения, так как среди жителей в возрасте старше 18 лет в 1986 г. за более чем 20 лет не были достоверно

выявлены радиационно-обусловленные заболевания [41, 42].

В работах [10, 11, 13] предполагалось, что дополнительная заболеваемость раком ЩЖ будет проявляться равномерно в течение всех предстоящих лет жизни, что до настоящего времени не могло быть подтверждено наблюдениями, и исследования продолжаются.

Что касается предполагаемых заболеваний гипотиреозом среди детей, то у небольшого числа лиц наблюдалось кратковременное снижение уровня тиреоидных гормонов, но стойкого гипотиреоза у детей не было выявлено [44].

Следует также понимать, что как описанные прогнозы, так и выделение радиогенной компоненты заболеваемости раком ЩЖ из данных 30-летних эпидемиологических наблюдений характеризуются большой статистической неопределенностью. Эта неопределенность ограничивает точность приведенных выше сравнений и обоснованность рекомендаций для прогноза. К настоящему времени закономерности образования радиационно-индуцированного рака ЩЖ изучены несравненно лучше, чем это было 30–40 лет назад, а данная работа имеет характер исторического анализа.

Заключение

Несмотря на широкий диапазон прогностических оценок отдаленных канцерогенных последствий облучения ЩЖ у населения РФ, эти прогнозы привлекли внимание органов власти к проблеме и помогли организации специализированной медицинской помощи населению. Прогнозы также стимулировали научное наблюдение для уточнения коэффициентов риска радиационно-индуцированных заболеваний, возникших в реальных условиях масштабной аварии ядерного реактора.

В целом, ранние прогнозы радиационно-индуцированной заболеваемости раком ЩЖ детей в 4 областях РФ с высокими уровнями радиоактивных выпадений [10–13] разумно согласуются с данными последующих 30-летних эпидемиологических наблюдений. В отношении рака ЩЖ у взрослых жителей такое сопоставление затруднено, поскольку повышение радиогенной заболеваемости не выявлено.

До настоящего времени нет международного консенсуса относительно модели и численных оценок коэффициента риска облучения ЩЖ радиоизотопами йода, оценок эффекта скрининга в когортных исследованиях, периода реализации индуцированных облучением заболеваний ЩЖ. Масштабные радиационно-эпидемиологические исследования, проводимые в Белоруссии, России и Украине, нацелены на решение этих вопросов.

Литература

1. Научный комитет ООН по действию атомной радиации. Последствия облучения для здоровья человека в результате Чернобыльской аварии. Научное приложение D к Докладу НКДАР ООН 2008 года Генеральной Ассамблее. Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк, 2012.
2. Ильин Л.А., Архангельская Г.В., Константинов Ю.О., Лихтарев И.А. Радиоактивный йод в проблеме радиационной безопасности. М.: Атомиздат, 1972.
3. Kirchner G. Transport of iodine and cesium via the grass-cow-milk pathway after the Chernobyl accident // Health Physics. 1994. Vol. 66, No 6. P. 653-664.

4. ICRP Publication 56. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides // *Annals of the ICRP*. 1989. Vol. 20.
5. ICRP Publication 72. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides Part 5: Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients // *ICRP Annals of the ICRP*. 1996. Vol. 26, No 1.
6. Borzilov V.A., Klepikova N.V. Effect of Meteorological Conditions and Release Composition on Radionuclide Deposition after the Chernobyl Accident // In: *The Chernobyl Papers*. Vol. 1: "Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies". Eds. Merwin S., Balonov M. Richland: Research Enterprises; 1993. P. 47-68.
7. Орлов М.Ю., Сныков В.П., Хваленский Ю.А., и др. Радиоактивное загрязнение территорий Белоруссии и России после Чернобыльской аварии // *Атомная энергия*. 1992. Т. 72, № 4. С. 371-376.
8. Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А., и др. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Гидрометеиздат, 1990. 223 с.
9. Звонова И.А., Балонов М.И., Константинов Ю.О. Реконструкция поглощенной дозы излучения йода-131 в щитовидной железе жителей загрязненных территорий РСФСР // В кн. «Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС». М.: 1987. С. 168-175.
10. Булдаков Л.А., Аветисов Г.М., Бархударов Р.М., и др. Оценка дозовой нагрузки на население и долгосрочных радиологических последствий в результате аварии на ЧАЭС. В кн. «Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС». М., 1987. С. 5-17.
11. Рамзаев П.В., Иванов Е.В., Балонов М.И., и др. Прогноз медицинских последствий аварии на ЧАЭС для населения РСФСР // В кн. «Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС». М.: 1987. С. 348-355.
12. Ильин, Л.А. Балонов М.И., Булдаков Л.А., и др. Экологические особенности и медико-биологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС // *Медицинская радиология*. 1989. Т. 34, № 12. С. 59-81.
13. Zvonova I.A., Balonov M.I. Radioiodine Dosimetry and Forecast for Consequences of Thyroid Exposure of the RSFSR Inhabitants Following the Chernobyl Accident. In: *The Chernobyl Papers*. Vol. 1: Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies. Ed. by S. Merwin and M. Balonov. Richland: Research Enterprises; 1993. P. 71-125.
14. Звонова И.А., Балонов М.И., Братилова А.А., и др. Оценка поглощенной дозы в щитовидной железе жителей Брянской, Тульской, Орловской областей по результатам радиометрии в 1986 году // *Радиация и риск*. 1997. Вып. 10. С. 95-116.
15. Звонова И.А., Балонов М.И., Братилова А.А. Внутреннее облучение щитовидной железы йодом-131. В кн. «Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС». Под ред. РАН Г.Г. Онищенко и А.Ю. Поповой. СПб.: НИИРГ имени проф. Рамзаева, 2016. Т. 1. С. 47-88.
16. Звонова И.А., Балонов М.И., Братилова А.А., и др. Экспериментальное обоснование методики реконструкции дозы облучения щитовидной железы для жителей России // В кн. «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». СПб: Гидрометеиздат, 2000. Т. 3. С. 151-159.
17. Цыб А.Ф., Степаненко В.Ф., Матвеев Е.Г., и др. Структура и уровни облучения щитовидной железы у жителей загрязненных районов Калужской области // *Радиация и риск*. 1994. Вып. 4. С. 129-135.
18. Zvonova I.A., Bruk G.Ya., Kaidanovsky G.N., et al. Mass Internal Exposure Monitoring of Population in Russia After the Chernobyl Accident // *Radiation Protection Dosimetry*. 2000. Vol. 89, No 3-4. P. 173-178.
19. Улановский А.В., Дроздович В.В. Влияние радионуклидов, распределенных в теле человека, на оценку доз облучения щитовидной железы по результатам прямых измерений. Препринт ИПЭ-27, Минск, 1997.
20. Bratilova A.A., Zvonova I.A., Balonov M.I., et al. ¹³¹I in the human thyroid estimated from direct measurements of the inhabitants of Russian areas radiocontaminated due to the Chernobyl accident // *Radiation Protection Dosimetry*. 2003. Vol. 105, No. 1-4. P. 623-626.
21. Звонова И.А., Жеско Т.В., Братилова А.А. Параметры режима питания и поведения жителей Брянской области в мае 1986 года, влияющие на оценку дозы, полученной вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // *Радиационная гигиена*. 2011. Т. 4, № 2. С. 50-58.
22. Zvonova I., Bratilova A., Zhesko T., et al. Ecological half-life of I-131 in milk after dry and wet radionuclide deposition due to the Chernobyl accident // *Radioprotection*. 2009. Vol. 44, № 5. P. 731-734.
23. Balonov M.I., Bruk G.Ya., Zvonova I.A., et al. Methodology of internal dose reconstruction for Russian population after the Chernobyl accident // *Radiation Protection Dosimetry*. 2000. Vol. 92, No 1-3. P. 247-253.
24. Власов О.К., Питкевич В.А. Агроклиматическая модель оценки транспорта радионуклидов по пищевым цепочкам и формирования доз внутреннего облучения населения // *Радиация и Риск*. 1999. Вып. 11. С. 65-86.
25. Zvonova I.A., Balonov M.I., Bratilova A.A. Thyroid Dose Reconstruction for Population of Russia Suffered after the Chernobyl Accident // *Radiation Protection Dosimetry*. 1998. Vol. 79, No. 1-4. P. 175-178.
26. Справочник: «Средние дозы облучения щитовидной железы жителей разного возраста, проживавших в 1986 г. в населенных пунктах Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей, загрязненных радионуклидами вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Под ред. М.И. Балонова и И.А. Звоновой. М.: Минздрав России, 2002.
27. Звонова И.А., Балонов М.И., Братилова А.А., и др. Дозы облучения щитовидной железы у населения России вследствие выпадений радиоактивного йода после аварии на Чернобыльской АЭС // *Атомная энергия*. 2004. Т. 96, вып. 4. С. 310-316.
28. Пятак О.А., Лукьянова Е.М., Бугаев В.Н., и др. Проблемы оценки состояния здоровья населения в условиях аварии на АЭС. В кн. «Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной станции». Киев: Здоровье, 1988. С. 165-171.
29. Звонова И.А., Лихтарев И.А., Филюшкин И.В., и др. Оценка онкологического риска облучения щитовидной железы человека // *Вестник АМН СССР*. 1991. № 8. С. 32-35.
30. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. 1977 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, 1977.
31. Holm L., Lundell G., Walinder G. Incidence of malignant thyroid tumors in Human after exposure to diagnostic doses of iodine 131 // *Journal of the National Cancer Institute*. 1980. Vol. 64. P. 1055-1059.
32. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ / пер. с англ. И.А. Гусева; под общ. ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
33. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. 1988 Report to the General Assembly, with annexes. United Nations, New York: 1988.
34. Induction of Thyroid Cancer by Ionizing Radiation: Recommendation of the National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP Report No. 80). Bethesda: NCRP. 1985.

35. Douple E.B., Mabuchi K., Cullings H.M., et al. Long-term Radiation-Related Health Effects in a Unique Human Population: Lessons Learned from the Atomic Bomb Survivors of Hiroshima and Nagasaki. Disaster Medicine and Public Health Preparedness, American Medical Association. 2011. Vol. 5, Suppl. 1.
36. Proceedings of the International Conference on One Decade After Chernobyl: Summing Up the Consequences of the Accident 8-12 April 1996. Vienna: IAEA, 1996. 555 p. (ISSN 0074-1884).
37. Cardis E., Anspaugh L., Ivanov V.K., et al. Estimated long term health effects of the Chernobyl Accident. In: One Decade After Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. IAEA, Vienna, 1996. P. 241-267.
38. Звонова И.А., Братилова А.А., Почтенная Г.Т., Петрова Г.В. Рак щитовидной железы у жителей Брянской области после аварии на Чернобыльской АЭС // Вопросы Онкологии. 2005. № 5. С. 540-545.
39. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by the Chernobyl accident. A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations. New-York. 2018.
40. Звонова И.А., Братилова А.А., Почтенная Г.Т. Риск радиогенных заболеваний раком щитовидной железы у жителей Брянской области вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2005. Т. 50, № 5. С. 41-52.
41. Иванов В.К., Кашеев В.В., Чекин С.Ю., и др. Рак щитовидной железы: уроки Чернобыля и их применение к ситуации в Фукусиме // Радиация и риск. 2016. Т. 25, № 2. С. 5-19.
42. Иванов В.К., Кашеев В.В., Чекин С.Ю., и др. Оценка радиационных рисков злокачественных новообразований среди населения 3 регионов России, загрязнённых радионуклидами вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2021. Т. 30, № 1. С. 58-77.
43. Петрова Г.В., Каприн А.Д., Грецова О.П., Старинский В.В. Злокачественные новообразования в России, обзор статистической информации за 1993-2013 гг. Под общ. ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2015. 511 с.
44. Беникова Е.А., Большова Е.В., Звонова И.А., и др. Состояние гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы у детей в различные сроки после радиационного воздействия в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В кн. «Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной станции». Киев: Здоровье. 1988. С. 177-180.

Поступила: 10.08.2021 г.

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: ir_zv@bk.ru

Балонов Михаил Исаакович – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Звонова И.А., Балонов М.И. Сравнение ранних прогнозов заболеваемости раком щитовидной железы жителей Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС с данными наблюдений // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. – С. 45-59. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-45-59

Comparison of early forecasts of the incidence of thyroid cancer in residents of the Russian Federation after the Chernobyl accident with observational data

Irina A. Zvonova, Mikhail I. Balonov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

A review of methods for assessing doses in the thyroid gland, predictions of the long-term consequences of its irradiation and the actual incidence of thyroid cancer in residents of four regions of the Russian Federation with the most significant radioactive fallout after the Chernobyl accident are presented. The method for assessing doses in the thyroid gland is based on the results of monitoring in May-June 1986 of radioiodine in the environment, food and in the body of residents. Thyroid doses in the population were used to justify medical and social protection measures, as well as epidemiological studies. In addition, the authorities needed

Irina A. Zvonova

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia. E-mail: ir_zv@bk.ru

forecasts of the possible morbidity of the population in order to organize adequate medical care. Most of the thyroid cancer cases were predicted among the adult population, which was not confirmed by observations 35 years after the accident. The prognosis of the incidence of thyroid cancer in preschool children differed in different studies due to the use of different coefficients of reducing the biological effectiveness of ^{131}I radiation in the thyroid gland and long-term external and internal irradiation of the whole body with a low dose rate compared to the effect of acute exposure. The increase in the incidence of thyroid cancer among children began five years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Examples of the dynamics of the incidence for children in the Bryansk region of the Russian Federation are given. The 2018 UNSCEAR Report showed that for 1986–2015, among children and adolescents under 18 years of age on the day of the accident in Belarus, Ukraine and four regions of Russia, more than 19 thousand thyroid cancer cases were detected, of which the share of radiation-induced diseases was estimated at 25%. For four regions of Russia, this amounts to 460 cases with a range of possible estimates from 130 to 900 cases. The highest morbidity was manifested among younger children exposed at the age of 0–4 years. In older children and adolescents, the proportion of radiation-induced diseases has significantly decreased 30 years after the accident. In general, early forecasts of radiation-induced thyroid cancer incidence in children in four regions of the Russian Federation with high levels of radioactive fallout are consistent with the data of subsequent 30-year epidemiological observations within an order of magnitude. With regard to thyroid cancer in adults, such a comparison is difficult, since no radiogenic increase in the incidence has been detected.

Key words: Chernobyl accident, population, thyroid doses, cancer prognosis and observed incidence of thyroid cancer.

References

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. Annex D UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II. Annex D. United Nations, New York; 2011.
2. Ilyin LA, Arkhangel'skaya GV, Konstantinov YuO, Likhtarev IA. Radioactive iodine in the problem of radiation safety. Moscow, Atomizdat; 1972. (In Russian)
3. Kirchner G. Transport of iodine and cesium via the grass-cow-milk pathway after the Chernobyl accident. *Health Physics*. 1994;66(6): 653–664.
4. ICRP Publication 56. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. *Annals of the ICRP*. 1989;20.
5. ICRP Publication 72. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides Part 5: Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. ICRP Annals of the ICRP. Oxford; 1996. 26 (1).
6. Borzilov VA, Klepikova NV. Effect of Meteorological Conditions and Release Composition on Radionuclide Deposition after the Chernobyl Accident. In *The Chernobyl Papers*. Vol. 1: "Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies". Eds. Merwin S, Balonov M. Richland: Research Enterprises; 1993. P. 47–68.
7. Orlov MYu, Snykov VP, Khvalensky YuA, Teslenko VP, Korenev AI. Radioactive contamination of the territories of Belarus and Russia after the Chernobyl accident. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*. 1992;72(4): 371–376. (In Russian).
8. Izrael YuA, Vakulovsky SM, Vetrov VA, Petrov VN, Rovinsky FYa, Stukin ED. Chernobyl: radioactive contamination of natural environments. Hydrometeoizdat; 1990. 223 p. (In Russian).
9. Zvonova IA, Balonov MI, Konstantinov YuO. Reconstruction of the absorbed dose of iodine-131 radiation in the thyroid gland of residents of the contaminated territories of the RSFSR. In "Immediate and Long-Term Consequences of the Radiation Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant." Moscow: 1987. P. 168–175. (In Russian).
10. Buldakov LA, Avetisov GM, Barkhudarov RM, Margulis UYa, Moskalev Yul, Osanov DP, et al. Assessment of the dose load on the population and long-term radiological consequences as a result of the Chernobyl accident. In "Immediate and long-term consequences of the radiation accident at the Chernobyl nuclear power plant." Moscow; 1987. P. 5–17. (In Russian).
11. Ramzaev PV, Ivanov EV, Balonov MI, Lieberman AN, Arkhangel'skaya GV. Forecast of the medical consequences of the Chernobyl accident for the population of the RSFSR. In "Immediate and removed consequences of a radiation accident at the Chernobyl nuclear power plant". Moscow: 1987. P. 348–355. (In Russian).
12. Ilyin LA, Balonov MI, Buldakov LA, et al. Environmental features and medico-biological consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Medical radiology. Meditsinskaya radiologiya = Medical radiology*. 1989;34(12): 59–81. (In Russian).
13. Zvonova IA, Balonov MI. Radioiodine Dosimetry and Forecast for Consequences of Thyroid Exposure of the RSFSR Inhabitants Following the Chernobyl Accident. In: *The Chernobyl Papers*. Vol. 1: Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies. Ed. by S. Merwin and M. Balonov. Richland, W., USA: Research Enterprises; 1993. P. 71–125.
14. Zvonova IA, Balonov MI, Bratilova AA, Baleva GE, Gridasova SA, Mitrokhin MA, et al. Estimation of the absorbed dose in the thyroid gland of residents of the Bryansk, Tula, Oryol regions based on the results of radiometry in 1986. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 1997;10: 95–116. (In Russian).
15. Zvonova IA, Balonov MI, Bratilova AA. Internal irradiation of the thyroid gland with iodine-131. In the monography "Radiation-hygienic aspects of overcoming the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant". Ed. G.G. Onishchenko and A.Yu. Popova. Saint-Petersburg: NIIRG named after prof. Ramzaeva; 2016. Vol. 1. P. 47–88. (In Russian).
16. Zvonova IA, Balonov MI, Bratilova AA, Pitkevich VA, Vlasov OK, Shishkanov NG. Experimental Substantiation of The Technique for Reconstructing The Thyroid Dose For The Inhabitants Of Russia. In "Radioactivity in Nuclear Explosions and Accidents". Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat; 2000. Vol. 3. P. 151–159. (In Russian).
17. Tsyb AF, Stepanenko VF, Matveenko EG, et al. The structure and levels of thyroid gland exposure in residents of contaminated areas of the Kaluga region. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 1994;4: 129–135. (In Russian).
18. Zvonova IA, Bruk GYa, Kaidanovsky GN, Zhesko TV, Balonov MI. Mass Internal Exposure Monitoring of Population in Russia After the Chernobyl Accident. *Radiation Protection Dosimetry*. 2000;89(3-4):173–178.
19. Ulanovsky AV, Drozdovich VV. Influence of radionuclides distributed in the human body on the assessment of thyroid

- doses based on the results of direct measurements. Preprint IPE-27: Minsk; 1997. (In Russian).
20. Bratilova AA, Zvonova IA, Balonov MI, Shishkanov NG, Trushin VI, Hoshi M. ^{131}I in the human thyroid estimated from direct measurements of the inhabitants of Russian areas radiocontaminated due to the Chernobyl accident. *Radiation Protection Dosimetry*. 2003;105(1-4): 623-626.
 21. Zvonova IA, Zhesko TV, Bratilova AA. Parameters of the diet and behavior of residents of the Bryansk region in May 1986, affecting the assessment of the dose received as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(2): 50-58. (In Russian).
 22. Zvonova I, Bratilova A, Zhesko T, Sarycheva S, Fomintseva M. Ecological half-life of I-131 in milk after dry and wet radionuclide deposition due to the Chernobyl accident. *Radioprotection*. 2009;44(5): 731-734.
 23. Balonov MI, Bruk GYa, Zvonova IA, Pitkevich VA, Bratilova AA, Zhesko TV, et al. Methodology of internal dose reconstruction for Russian population after the Chernobyl accident. *Radiation Protection Dosimetry*. 2000;92(1-3): 247-253.
 24. Vlasov OK, Pitkevich VA. Agroclimatic model for assessing the transport of radionuclides along the food chain and the formation of doses of internal exposure of the population. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 1999;11: 65-86. (In Russian).
 25. Zvonova IA, Balonov MI, Bratilova AA. Thyroid Dose Reconstruction for Population of Russia Suffered after the Chernobyl Accident. *Radiation Protection Dosimetry*. 1998;79(1-4):175-178.
 26. Handbook: "Average doses of thyroid gland exposure of residents of different ages who lived in 1986 in settlements of the Bryansk, Tula, Oryol and Kaluga regions contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident. Ed. M.I. Balonov and I.A. Zvonova. Ministry of Health of Russia: Moscow; 2002. (In Russian).
 27. Zvonova IA, Balonov MI, Bratilova AA, Danilova IO, Vlasov OK, Shchukina NV. Radiation doses of the thyroid gland in the population of Russia due to the fallout of radioactive iodine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*. 2004;96(4): 310-316. (In Russian).
 28. Pyatak OA, Lukyanova EM, Bugaev VN, Nedelko VP, Prisyazhnyuk AE, Burenin PI, et al. Problems of assessing the state of health of the population in the conditions of an accident at a nuclear power plant. In "Medical aspects of the accident at the Chernobyl nuclear power plant". Kiev: Health; 1988. P. 165-171.
 29. Zvonova IA, Likhtarev IA, Filyushkin IV, Shandala NK, Gulko GM. Assessment of the oncological risk of exposure to the human thyroid gland. *Bulletin of the USSR Academy of Medical Sciences*. 1991;8: 32-35.
 30. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1977 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations: New York; 1977.
 31. Holm L, Lundell G, Walinder G. Incidence of malignant thyroid tumors in Human after exposure to diagnostic doses of iodine 131. *Journal of the National Cancer Institute*. 1980;64: 1055-1059.
 32. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
 33. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. 1988 Report to the General Assembly, with annexes. United Nations: New York; 1988.
 34. Induction of Thyroid Cancer by Ionizing Radiation: Recommendation of the National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP Report No. 80). Bethesda: NCRP; 1985.
 35. Douple EB, Mabuchi K, Cullings HM, Preston DL, Kodama K, Shimizu Y, et al. Long-term Radiation-Related Health Effects in a Unique Human Population: Lessons Learned from the Atomic Bomb Survivors of Hiroshima and Nagasaki. Disaster Medicine and Public Health Preparedness, American Medical Association. 2011;5(1).
 36. Proceedings of the International Conference on One Decade After Chernobyl: Summing Up the Consequences of the Accident. Vienna: IAEA; 1996. 555 p. (ISSN 0074-1884).
 37. Cardis E, Anspaugh L, Ivanov VK, Likhtarev IA, Mabuchi K, Okeanov AE, et al. Estimated long term health effects of the Chernobyl Accident. In: One Decade After Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. IAEA Agency: Vienna; 1996. P. 241-267.
 38. Zvonova IA, Bratilova AA, Pochtennaya GT, Petrova GV. Thyroid cancer in residents of the Bryansk region after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. "Questions of Oncology". 2005;(5): 540-545. (In Russian).
 39. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by the Chernobyl accident. A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations: New-York; 2018.
 40. Zvonova IA, Bratilova AA, Pochtennaya GT. The risk of radiogenic diseases of thyroid cancer among residents of the Bryansk region due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Medical radiology and radiation safety". 2005;50(5): 41-52. (In Russian).
 41. Ivanov VK, Kascheev VV, Chekin SYu, Maksyutov MA, Tumanov KA, Menyailo AN, et al. Thyroid cancer: lessons from Chernobyl and their application to the situation in Fukushima. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 2016;25(2): 5-19. (In Russian).
 42. Ivanov VK, Kashcheev VV, Chekin SYu, Maksyutov MA, Tumanov KA, Kochergina EV, et al. Assessment of radiation risks of malignant neoplasms among the population of 3 regions of Russia contaminated with radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 2021;30(1): 58-77. (In Russian).
 43. Petrova GV, Kaprin AD, Gretsova OP, Starinsky VV. Malignant neoplasms in Russia, a review of statistical information for 1993-2013. Ed. by A.D. Kaprin, Prof. V.V. Starinsky. Moscow: MNI OI im. P.A. Herzen; 2015. 511 p. (In Russian).
 44. Benikova EA, Bolshova EV, Zvonova IA, Zubovsky GA, Markov VV, Matvienko EG, et al. The state of the pituitary-thyroid system in children at various times after radiation exposure as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. In "Medical aspects of the accident at the Chernobyl nuclear power plant." Kiev: Health; 1988. P. 177-180. (In Russian).

Received: August 10, 2021

For correspondence: Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: ir_zv@bk.ru)

Mikhail I. Balonov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher of Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Zvonova I.A., Balonov M.I. Comparison of early forecasts of the incidence of thyroid cancer in residents of the Russian Federation after the Chernobyl accident with observational data. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No 4. P. 45-59. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-45-59